

연구논문

국지적 공간상관분석을 이용한 MODIS영상에서의 산불탐지에 관한 연구

A Study on Forest Fire Detection from MODIS Data Using Local Spatial Association Analysis

변영기* · 허 용** · 김용민*** · 유기윤****

Byun, Young Gi · Huh, Yong · Kim, Yong Min · Yu, Ki Yun

要 旨

공간적 이상치란 관찰값들중에서 이웃한 주변값에 비해 공간변수값이 특별히 크거나 작은 특이한 관찰값을 말한다. 최근 통계나 데이터 마이닝 분야에서 공간자기상관을 이용한 다양한 공간적 이상치 탐지방법이 제시되고 있다. 이와 같은 방법은 NASA에서 개발운영중인 AQUA위성에 탑재된 MODIS 영상자료를 이용한 산불탐지에 이용될 수 있다. 산불탐지는 휘도온도의 공간적 변동특성을 이용하여 관찰값들 중에서 지역적으로 불안정한 공간적 이상치를 찾는 과정이라 할 수 있기 때문이다. 이에 본 연구에서는 공간적 이상치를 규명할 수 있는 국지적 공간상관분석기법에 기반한 산불탐지방법을 제안하였다. 또한 기존 NASA에서 제안하여 광범위하게 이용되고 있는 Contextual algorithm방법과 정확도를 비교함으로써 제안한 방법의 적용가능성을 평가하였다.

핵심용어 : 공간상관, Local Moran, Moran Scatterplot, MODIS imagery

Abstract

Spatial outliers in remotely sensed imagery represent observed quantities showing unusual values compared to their neighbor pixel values. There have been various methods to detect the spatial outliers based on spatial autocorrelations in statistics and data mining. These methods may be applied in detecting forest fire pixels in the MODIS imageries from NASA's AQUA satellite. This is because the forest fire detection can be referred to as finding spatial outliers using spatial variation of brightness temperature. In this paper, we propose a new forest fire detection algorithm which is based on local spatial association analysis, and test the proposed algorithm to evaluate its applicability. In order to evaluate the proposed algorithm, the results were compared with the MODIS fire product provided by the NASA MODIS Science Team, which showed the possibility of the proposed algorithm in detecting the fire pixels.

Keywords : Local spatial association, Local moran, Moran scatterplot, MODIS imagery

1. 서 론

공간적 이상치(spatial outlier)란 관찰값들중에서 이웃한 주변값에 비해 공간변수(spatial variable)값이 특별히 크거나 작은 특이한 관찰값(extreme observation)을 말한다. 이러한 공간적 이상치를 탐지하기 위한 다양한 기법이 통계학은 물론 데이터 마이닝(data mining)분야에서 활발하게 연구 중이다(Barnett and Lewis, 1994; Shekhar et al., 2003). 공간적 이상치를 규명할 수 있는 국지적 공간상관분석 기법은 그래프를 이용하여 가시적인 분석이

가능한 특성을 가지고 있으며, Scatterplot 기법과 Moran's Scatterplot 기법이 주로 사용된다(Shekhar et al., 2001, 1994; Shekhar et al., 2003). 이중 Moran's Scatter Plot 기법은 Local Moran's I를 이용한 이상치 탐지방법으로 주변자료들과의 공간상관관계를 이용하는 방법이다. 이와 같은 방법은 NASA에서 개발 운영중인 AQUA위성에 탑재된 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 영상자료를 이용한 산불탐지에 이용될 수 있다.

산불탐지는 휘도온도의 공간적 변동특성을 이용하여 관찰값들 중에서 지역적으로 불안정(local instability)하

2006년 12월 1일 접수, 2007년 2월 2일 채택

* 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 (kko071@snu.ac.kr)
** 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정 (hy21262@dreamwiz.com)
*** 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정 (kym0210@snu.ac.kr)
**** 정희원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수 (kiyun@snu.ac.kr)

거나 특이한 관찰값인 공간적 이상치(spatial outlier)를 찾는 과정이라 할 수 있기 때문이다.

MODIS 위성영상을 이용한 산불탐지 접근방법에는 크게 분광적 기법(spectral method), 공간적 기법(spatial method), 시계열적 기법(temporal method)으로 나눌 수 있다(Li et al., 2000). 이중 분광적 분석기법은 지표면 온도 영상 전체에 특정 임계값을 적용하여 탐지하는 기법이며, 공간적 분석기법은 판별하고자 하는 화소를 중심으로 주변부 지표온도의 평균과 표준편차를 이용하여 탐지하는 기법으로 현재 가장 활발하게 사용되고 있는 contextual 기법이 여기에 속한다(Giglio et al., 2003). 마지막으로 시계열적 분석기법은 시간의 변화에 따른 동일한 지점의 온도 변화를 이용하여 산불을 탐지하는 기법이다(Lasponara et al., 2003). 하지만 이러한 기존의 산불탐지의 경우 대상지역의 기후나 자연환경에 따라 최적화된 임계값(Threshold)을 찾아야 하고, 한 영상의 공간적 범위가 넓을 경우 상이한 주변환경을 고려하여 임계값을 적용해야 한다. Giglio(2003)는 판별하고자 하는 화소를 중심으로 일정한 탐색범위 내에서 온도의 통계치를 이용하여 임계값을 결정하는 Contextual 알고리즘을 제안한 바 있다. 하지만 Contextual 알고리즘 또한 산불탐지에 사용되는 스펙트럼 밴드에 따라 서로 다른 임계치를 경험적으로 설정해야 한다(Giglio et al., 2003).

본 연구에서는 이와 같은 전통적인 접근방법이 아닌 국지적 공간상관분석 기법을 이용하여 산불을 탐지하는 효율적인 방법을 개발하고, 이를 MODIS 데이터에 적용하여 개발된 방법의 성능을 평가하는데 목적이 있다. 또한 기존 NASA에서 제안하여 광범위하게 이용되고 있는 Contextual 알고리즘과 정확도를 비교함으로써 제안한 방법의 적용가능성을 평가하였다.

2. 연구 방법 및 범위

본 연구의 전체 흐름도는 그림 1과 같이 전처리 및 산불탐지 분석 및 정확도평가로 구성된다. 전처리는 ENVI 3.5를 이용하여 기하보정 및 한반도 지역을 추출, 그리고 휘도온도계산을 수행하였다. 밴드별 휘도온도를 계산하기 위하여 먼저 메타데이터에 포함된 Offset 과 Scale정보를 이용하여 밴드별 밝기값을 복사휘도로 변환한다. 또한 산불탐지기법을 수행하기 위해서는 복사휘도값을 지표면 온도값으로 변환하는 과정이 수행되어야 한다. 플랑크 함수를 이용하여 정밀한 휘도온도를 계산하기 위해서는 Relative Spectral Response를 고려해야 하나 본 연구에서는 편의상 위스콘신대학 CIMSS(Cooprative Institute for Meteorological Satellite Studies)에서 공개한 간편식을 사

용하여 휘도온도를 계산하였다.

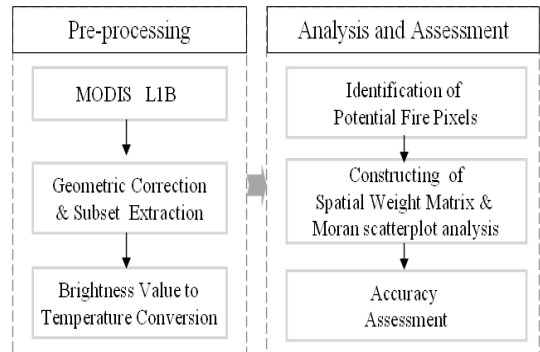


그림 1. 자료처리 흐름도

다음으로 대상지역내에서의 비산불화소의 영향을 배제하고 산불일 가능성이 높은 잠재산불화소를 추정된 뒤 추정된 산불후보점에 한해 제안한 산불탐지기법을 적용하였다.

마지막으로 산림청 자료를 이용하여 산불발생지역의 발생시각, 위치, 피해면적을 고려하여 구축된 참조데이터를 이용하여 정확도 평가를 수행하였다.

3. 산불탐지 분석 방법론

물체에서 방사되는 에너지양은 플랑크 함수를 통하여 특정파장에서 관측된 지표면의 온도를 계산할 수 있다. 또한 온도와 에너지방사량의 관계를 살펴보면 흑체방사 곡선으로부터 온도가 높아질수록 짧은 파장쪽의 총에너지 방사량이 높아지는 특징을 갖는다. 이러한 물리법칙에 따라 산불과 같은 고온의 물질은 상대적으로 단파장대인 4 μ m와 11 μ m대에서 방출하는 에너지 방사량이 높게 나타나고 그 중 특히 4 μ m에서 방출하는 에너지가 급격하게 증가하게 된다. 그런데 두 파장대에서 측정된 온도는 산불이 발생하였을 때 모두 증가하지만 증가 정도는 매우 상이하다. 그 결과 산불이 발생한 지역의 온도를 4 μ m와 11 μ m 파장대에서 측정하면 산불이 고온일수록, 그리고 한 화소에서 차지하는 산불의 면적이 클수록 두 파장대에서의 온도차는 증가한다(MODIS science Team, 1998; Li et al., 2000).

이에 본 연구에서는 이러한 산불의 물리적 거동 특성을 이용하여 산불일 가능성이 높은 잠재산불화소를 추정된 후 추정된 산불 후보점에 한해서 두 파장대의 온도차(ΔT)를 단일공간변수로 하여 국지적 공간상관분석을 수행하였다. 국지적 규모에서 공간상관정도를 측정하기 위해서는, 각각의 화소에 대해서 공간상관값이 계산되어야 하

는데, 본 연구에서는 여러 국지적 규모의 공간상관지수(LISA) 중 Local Moran's I를 이용하여 공간상관값을 구하였고 각 개별위치의 Local Moran's I 값을 시각화한 Moran Scatterplot를 이용하여 최종산불화소를 탐지하였다.

3.1 잠재산불화소 추정

산불과 같은 고온물질의 물리적 특성에 기반하여 4 μ m 와 11 μ m 파장대에서의 온도차를 이용하여 잠재산불화소를 추정할 수 있다. 하지만 구름 또한 두 파장대에서의 온도차가 높기 때문에 위성영상을 이용한 산불 탐지 및 분석에 있어서 상당한 문제가 된다. 때문에 구름의 탐지 및 제거는 영상의 전처리에 있어서 중요한 부분이며, 어려운 과정의 하나이다. 구름은 일반적으로 지표면에 비해 4 μ m 밴드대와 12 μ m 밴드대에서 복사휘도값(radiance)이 낮다는 특성을 이용하여 탐지할 수 있다(Li, 2005).

본 연구에서는 알고리즘 수행시간을 줄이고 효율적인 산불탐지를 위해 식 (1)과 같은 두 가지 기준을 통해 구름과 수계와 같은 비산불화소를 배제하고 산불일 가능성이 높은 잠재화소들을 산불후보점으로 추출하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Criterion 1: } R_4 &> \max(\bar{R}_4, \bar{R}_{4w}) \\
 &\text{and } R_{12} > \max(\bar{R}_{12}, \bar{R}_{12w}) \\
 \text{Criterion 2: } \nabla T &= (T_{11} - T_4) > 8K
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, R_4, R_{12} : 4 μ m 와 12 μ m 밴드대의 radiance값, \bar{R}_4, \bar{R}_{12} : 4 μ m 와 12 μ m 밴드대의 평균 radiance값, $\bar{R}_{4w}, \bar{R}_{12w}$: local window내에서 두 밴드대의 평균 radiance값을 나타낸다.

본 연구에서 사용된 대부분의 영상에서 식 (1)과 같은 간단한 기준을 이용하여 절반이상의 비산불화소들을 알고리즘 연산 수행시 배제할 수 있었다.

3.2 국지적 공간상관 분석

원격탐사자료와 같은 위치정보를 포함하고 있는 공간 데이터의 이상점 검출을 위하여 전통적인 통계분석 기법을 적용하는 것은 통계적 모형의 유효성에 대한 그릇된 판별력을 갖게 함으로써 오인된 통계적 추론을 유도할 수 있다(Anselin, 1988).

이에 본 연구에서는 공간실체(spatial entities)들의 상호 의존성 및 이질성과 같은 공간효과(spatial effect)를 고려하는 공간통계분석기법인 LISA(Local Indicators of Spatial Association)을 이용하여 MODIS 영상에서 공간 이상치를 검출하였다(Anselin, 1995).

일반적으로 공간통계기법을 채용하여 개별데이터의 국부적인 특성을 조사하기 위해서는 개별데이터의 상호작용을 개념화하는 공간가중치행렬이 구성 되어야 한다.

3.2.1 공간가중치행렬 구성

공간적 상관(spatial association)분석에 있어서 가장 중요한 요소중의 하나인 공간 가중치 행렬(spatial weight matrix)은 연구자가 공간데이터의 상호작용을 정량화 하는 방식에 따라 매우 다양하게 구성될 수 있다.

가장 단순하게는 래스터 자료에 대해 인접한 화소의 방향에 따라 공간적 이웃을 정의하고 인접성에 기반한 이진 가중치를 부여하는 방식에서부터, 불규칙 포인트 자료나 복잡한 형태의 벡터 자료에 대해 거리, 위상정보 등을 이용하여 공간적 인접성을 정의하고, 면적, 길이 등을 이용하여 가중치 함수를 정의하는 방식까지 매우 다양하다(O'Sullivan, 2003).

본 연구에서는 4차의 커널(quartic kernel)함수를 이용하여 각 개별위치에서의 가중치를 산정하였다. 커널을 이용한 가중치 추정은 커널 밴드폭을 조정함으로써 공간적 이웃을 정의할 수 있고 거리에 기반한 가중치를 고려할 수 있다는 장점이 있다. 사용된 quartic kernel function 은 다음과 같다.

$$k_r(s) = \begin{cases} \frac{3}{\pi} \left(1 - \frac{d_{ij}^2}{\tau^2}\right)^2 & d_{ij} \leq \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}
 \tag{2}$$

여기서, d_{ij} 는 관측점 i 와 j 의 거리, τ 는 커널 밴드폭을 말한다. 본 논문에서는 $\tau = 3$ 을 사용하였다.

대다수의 공간통계 분석기법들은 계산의 편의성을 위해 행별 표준화된 공간 가중치 행렬(row-standardized spatial matrix)을 사용한다. 행별표준화된 공간가중치행렬은 가중치행렬을 구성하는 원소를 각행의 합으로 나누어 공간단위들이 갖는 상대적인 영향력을 표준화한 행렬을 말한다.

3.2.2 Local Moran's I

대다수 통계학에서 사용되고 있는 통계치들은 표본공간에서의 관측값들 사이의 독립성을 가정하는 반면, Moran's I 는 관측값들 사이의 상호의존성(spatial dependence) 또는 공간 자기상관(spatial autocorrelation)의 정도를 측정하는 통계치를 말한다(Anselin, 1995).

Moran's I 측정은 크게 관측데이터의 전체적 경향을 보는 Global Moran's I와 개별위치에 따른 국지적 경향을 측정하는 Local Moran's I로 구분할 수 있다.

Local Moran's I 은 Global Moran's I의 분자와 분모에 각각 을 나누고, 행별표준화된 공간 가중치행렬을 사용하면 식 (3)과 같이 Z-statistics 형태로 표현할 수 있다.

$$I = \frac{n}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} = \frac{1}{n} Z^T \tilde{Z} \quad (3)$$

여기서, n은 전체데이터의 개수, \bar{x} 는 전체데이터의 평균, x는 공간변수, w_{ij} 는 행렬표준화된 공간가중치행렬의 원소를 말한다.

위 식을 개별위치에 해당하는 Moran's I 값으로 분해하면 식 (4)와 같은 Local Moran's I 값을 구할 수 있다.

$$I_i = z_i \times \sum_j w_{ij} z_j \quad (4)$$

만일 특정한 지점의 값이 인접한 공간단위들과 유사한 값을 갖는 경우, Local Moran's I 계수는 정적공간상관을 갖는 반면, 서로 상이한 값들을 갖게 되면 부적공간상관을 갖게 된다.

3.2.3 Moran Scatterplot

Moran Scatterplot은 식 (4)에서와 같이 Z-통계량으로 정규화된 개별화소들의 온도값을 X축에 정규화된($W \cdot Z$) 주변화소의 온도값을 Y축으로 하여 데이터를 2차원평면상에 표현한 그래프이다.

Moran Scatterplot 4개의 사분면으로 나누어 서로 다른 유형의 공간자기상관을 표시할 수 있다.

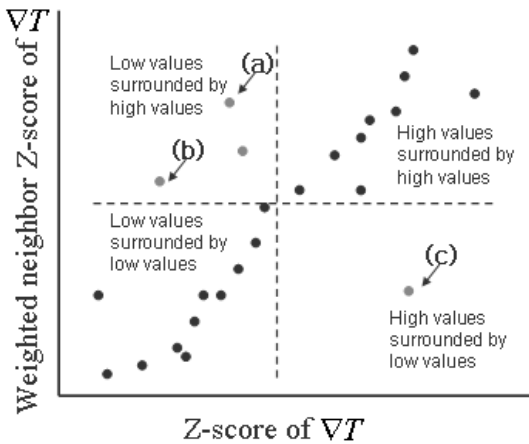


그림 2. Moran Scatterplot

그림 2에서 볼 수 있듯이, 일반적으로 Moran Scatterplot 상에서 좌상단의 화소 (a), (b)와 우하단의 화소(c)는 공간적으로 서로 상이한 값을 갖는 공간이상치라 할 수 있다. 하지만 좌상단과 우하단의 화소들의 공간적변동특성은

정반대의 경향을 갖는다. 좌상단의 경우 온도가 높은 값들로 둘러싸여있는 화소들이고, 우하단에 위치한 화소는 그 반대의 특성을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 산불발생지역의 온도는 주변보다 높으므로 Moran Scatterplot 상에서 부적공간자기상관을 갖는 (c)지점에 위치하는 화소들을 최종산불화소로 결정하였다.

4. 연구대상 지역 및 사용데이터

본 연구에서 사용된 영상데이터는 AQUA MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) L1B 영상으로 자세한 제원은 표 1과 같고 NASA에서 수신한 한반도 영상을 이용하였다. 연구대상 시기는 최근 양양, 고성에서 산불이 발행한 2005년 4월 5일, 2005년 4월 11일, 2004년 2월 9일, 2004년 2월 14일, 2003년 4월 2일로 총 5시기의 영상을 선정하였고 연구에 사용된 MODIS 밴드 리스트는 표 2와 같다.



그림 3. 2005년 4월 5일 영상

표 1. MODIS 영상 제원

위성	AQUA
센서	MODIS
공간해상도	1km
밴드수	36
촬영지역	한반도
촬영 날짜	2003.04, 2004.02, 2005.04

표 2. 사용된 Band List

밴드	Bandwidth(μm)
21	3.930-3.989
22	3.930-3.989
31	10.780-11.280
32	11.770-12.270

본 연구에서는 MODIS 영상을 이용한 산불탐지에 있어서 센서의 포화현상(saturation)에 의한 문제점을 해결하기 위해서 같은 밴드폭을 갖는 밴드21과 밴드22의 복사휘도 값을 이용하였다. 포화현상이란 센서가 감지할 수 있는 복사휘도의 한계이상으로 복사휘도가 센서에 도달하는 현상을 말한다. 이 경우 위성영상자료에는 최대값으로 기록될 뿐 정확한 복사휘도를 알 수 없다는 문제점이 발생한다. 대개 밴드22는 약 330K에서 휘도온도(brightness temperature)의 포화가 일어나고 밴드21에서는 약 550K에서 발생한다. 따라서 밴드22에서 포화현상이 포착되었을 때 밴드21의 값을 대신 사용함으로써 포화문제를 해결할 수 있다.

본 연구에서는 정확도 평가를 위해 산림청 산불통계정보 관리시스템에서 제공하는 자료를 이용하여 참조데이터를 구축하였다. 이 자료에는 산불 발생지, 발생 및 진화 시간, 피해면적, 발생원인이 기록되어 있다. 하지만 산불 발생지의 경우 정확한 경위도좌표가 아닌 행정주소로 기록되어 있어 정확한 참조데이터의 구축에 한계가 있었다. 때문에 본 연구에서는 MODIS 영상의 1km 공간해상도를 고려하여 주변지역에 산불로 오분류될 가능성이 있는 곳, 공장지대 또는 쓰레기 소각장 등이 없다는 조건을 만족할 경우에 좌표상의 중대한 오류가 발생하지 않을 것이라고 가정하였다. 또한 AQUA 위성은 한반도를 13시 30분경에 촬영하므로 이 시각에 발생한 산불자료만을 이용하였다. 산불자료의 피해면적은 실제 산불의 크기보다 수십 배에서 수백 배에 이를 수 있다. 이론적으로 MODIS 영상이 감지할 수 있는 최소한의 산불은 온도가 800-1000K 일 때 100m²으로 0.01 ha에 해당하며 약 50%의 정확도를 가진다. 따라서 본 연구에서는 산불피해면적이 0.1ha 이상일 경우 MODIS 영상을 이용한 산불탐지 정확도평가에 사용할 수 있다고 가정하였다.

5. 분석 및 평가

본 연구에서는 제안된 산불탐지방법의 탐지결과와 적용가능성을 보기 위해 MODIS fire Product(MOD14)와 비교평가를 수행하였다(Justice, 2002).

NASA에서 제공하는 MODIS L1B영상에는 NASA에서 자체 개발한 Contextual 탐지방법을 이용한 MODIS fire Product를 영상과 함께 배포한다. Contextual 탐지방법은 4 μm 와 11 μm 파장대의 영상 데이터를 이용한 윈도우 기반 탐지방법이다. 식 (5)와 같이 일정 탐색범위에서의 개별화소 온도의 평균, 그리고 온도차의 평균(μ_4, μ_{4-11})과 표준편차(σ_4, σ_{4-11})값을 이용하여 산불화소의 유무를 탐지하는 방법을 말한다. 여기서 α 와 β 는 사용자 정의 상수이다.

$$T_4 \geq \mu_4 + \alpha\sigma_4$$

$$T_{4-11} \geq \mu_{4-11} + \beta\sigma_{4-11} \tag{5}$$

Contextual 탐지방법은 식 (5)에서 알 수 있듯이 사용자 정의 상수값의 변화가 탐지결과에 많은 영향을 미친다. 이 값이 낮아지면 수행오차(Commission error)가 증가하게 되며, 높아지면 누락오차(Omission error)가 증가한다. 따라서 탐지 정확도의 향상을 위해서는 임계치의 최적화 과정이 중요한 문제가 된다(Seielstad et al., 2002).

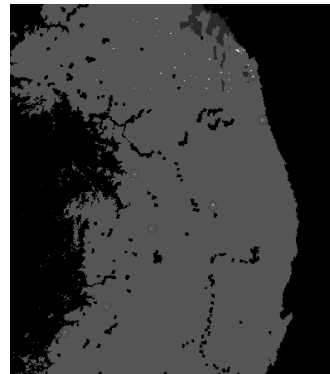


그림 4. MOD 14 탐지결과

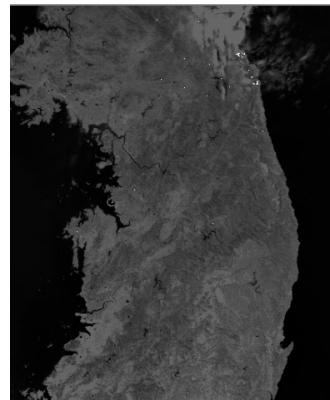


그림 5. Moran Scatterplot 탐지결과

그림 4와 그림 5는 각각 2005년 4월 5일자 영상에 대한 MOD14 탐지결과와 제안한 산불탐지 결과를 보여주고 있다.

본 연구에서 제안한 산불탐지기법을 모든 영상에 적용한 후 결과 비교를 위해 MODIS fire Product(MOD14)와 정확도 평가를 수행하였다. 탐지 정확도 평가는 구축된 참조데이터와 각각의 탐지결과를 비교하여 사용자 정확도(user accuracy)와 생산자 정확도(producer accuracy)를 측정하였으며, 그 결과는 표 3과 같다(Congalton, 1991).

표 3. 탐지정확도 평가 결과

	Moran Scatterplot	MOD 14
총 탐지화소 개수	40	35
탐지된 화소 중 실제산불화소수	15	11
Omission error	11	15
Commission error	25	24
User accuracy(%)	37.5	31.4
Producer accuracy(%)	57.6	42.3

표 3에서 볼 수 있듯이 제안된 산불탐지기법이 MODIS fire product에 비해 생산자 정확도 측면에서 15%, 사용자 정확도 측면에서 6% 높은 것을 확인 할 수 있다. Moran Scatterplot 산불탐지의 경우 생산자 정확도는 높으나 상대적으로 수행오차가 높게 나타났다. 여기서 수행오차 중에는 소각장이나 산업시설 밀집지역과 같이 불가피한 오분류 산불화소도 포함되어 있다.

Moran Scatterplot 알고리즘은 특별한 수치적기준 없이 Moran Scatterplot 상의 위치로 최종산불화소를 결정하기 때문에 상대적인 공간변동의 크기를 고려하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 하지만 제안된 알고리즘은 정확도 평가 결과에서 볼 수 있듯이 MOD14에 비해 좀더 나은 결과를 보이고, 기존 산불탐지에서 같은 복잡한 임계치 설정 및 조정과정이 필요치 않으므로 이런 면에서 산불탐지에 적용가능성이 높은 기법이라 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 MODIS L1B 영상자료를 이용한 산불탐지에 있어 공간적 변동 특성을 반영하는 국지적 공간 상관분석을 이용한 산불탐지기법을 제안하였다. 또한 제안된 산불 탐지기법의 결과 비교를 위해 MODIS fire product과 탐지정확도평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

제안된 기법의 경우 MODIS fire product에 비해 사용자 정확도와 생산자 정확도 측면에서 다소 향상된 탐지정확도를 보이고, 기존 산불탐지에서와 같이 상이한 기후나 자연환경에 따른 다양한 경험적 임계치 조정과정이 필요치 않으므로 산불탐지에 이용 가능한 방법이라고 생각된다. 하지만 최종산불화소 결정과정에서 Moran Scatterplot 알고리즘의 경우 공간적변동의 크기를 고려하는 특별한 수치적 기준이 없으므로 인해 수행오차가 다소 크다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 수행오차를 효과적으로 줄일 수 있는 산불의 공간변동특성을 잘 반영할 수 있는 공간 가중치 행렬의 구성이 필요하다.

감사의 글

본 연구에 대한 서울대학교 공학연구소의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. S. Shekhar, C.T. Lu, and P. Zhang, 2003, "A unified approach to detecting spatial outliers", *Geoinformatica*, Vol. 7, No. 2, pp. 139-166.
2. S. Shekhar, C. T. Lu, and P. Zhang, 2001, "Detecting graph-based spatial outliers: algorithms and application(a summary of results)". *In Proc. the ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, San Francisco, CA, USA, pp. 371-376.
3. V. Barnett and T. Lewis, 1994, *Outliers in Statistical Data, 3rd edition*, John Wiley: New York,
4. D. O'Sullivan and D.J.Unwin, 2003, *Geographic Information Analysis*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., pp. 196-201.
5. Ying Li, V. Anthony, R.L.Kremens, O. Ambrose and T. Chungqiang, 2005, "A Hybrid Contextual Approach to Wildland Fire Detection Using Multispectral Imagery", *IEEE Tran. Geoscience and remote sensing*, Vol. 43, No. 9 September, pp. 2115-2126.
6. Z. Li, Y. J. Kaufman, C. Ichoku, R. Fraser, A. Trishchenko, L. Giglio, J. Jin and X. Yu. (2000, Sep.), *A Review of AVHRR-based Active Fire Detection Algorithms: Principles, Limitations, and Recommendations*, Available : <http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/other.html>
7. L. Giglio, J. Desclotres, C. O. Justicec and Y. J. Kaufman, 2003, "An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS", *Remote Sensing of Environment*, Vol. 87, pp. 273-282.
8. R. LASAPONARA, V. CUOMO, M. F. MACCHIATO and T. SIMONIELLO, 2003, "A self-adaptive algorithm based on AVHRR multitemporal data analysis for small active fire

- detection”, *INT.J. Remote Sensing*, Vol. 24, No. 8, pp. 1723-1749.
9. MODIS Science Team. (1998, Nov., 10), *Algorithm Technical Background Document ver2.2* Available: http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod14.pdf
 10. C. A. Seielstad, J. P. Riddering, S. R. Brown, L. P. Queen, and W. M. Hao, 2002, “Testing the Sensitivity of a MODIS-Like Daytime Active Fire Detection Model in Alaska Using NOAA/AVHRR Infrared Data”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 68, No. 8, pp. 831-838.
 11. C. O. Justice, L. Giglio, S. Korontzi, J. Owens, J. T. Morisette, D. Roy, J. Descloitres, S. Alleaume, F. Petitcolin and Y. Kaufman, 2002, “The MODIS fire products”, *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, pp. 244-262.
 12. L. Anselin, 1995, Local Indicators of Spatial Association-LISA, *Geographical Analysis* 27, pp. 93-115.
 13. Congalton, R. G., 1991, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remote Sensing Data, *Remote Sensing of Environment*, 37:35-46.
 14. Korea Forest Service <http://www.foa.go.kr/>